

STUDI PERENCANAAN PEMBANGUNAN PENYULANG BARU UNTUK PEMBAGIAN BEBAN PENYULANG SAHANG 1 DAN RAYA 17 PT PLN (PERSERO) ULP SIANTAN

Ayati Saadah¹⁾, M. Iqbal Arsyad²⁾, Junaidi³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

Email: ¹⁾ayatisaadah101@gmail.com

²⁾iqbalarsyad@ee.untan.ac.id

³⁾junaidi@ee.untan.ac.id

Abstrak - Kebutuhan akan energi listrik yang semakin meningkat membuat PT PLN (Persero) selaku penyedia tenaga listrik harus bisa memenuhi kebutuhan pelanggan dan harus menjaga kehandalan serta kontinuitas suplai energi listrik. Penelitian ini mengenai kondisi penyulang Sahang 1 dan Raya 17 pada PLN ULP Siantan UP3 Pontianak memiliki pembebanan yang berat dan panjangnya penyulang membuat drop tegangan dan susut kWh yang hilang semakin besar. Adanya penambahan daya pada pelanggan industri yang disuplai dari penyulang Raya 17 serta pengembangan dibidang pemerintahan di daerah Sui Ambawang Siantan membuat PLN sebagai penyedia satu-satunya dalam bidang kelistrikan harus mampu melayani pelanggan dengan baik. Untuk mengatasi masalah tersebut dibuat perencanaan mengenai penambahan penyulang baru dengan dibangun gardu hubung (GH) untuk meningkatkan keandalan dan kontinuitas pelayanan listrik di ULP Siantan. Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi menggunakan software Etap 12.6 didapat hasil drop tegangan yang awalnya 14% menjadi dibawah 5% dan susut kWh yang awalnya 18% menjadi dibawah 5% untuk setiap penyulang yang telah dilakukan pembagian beban. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan penyulang baru dengan GH sebesar 42 milyar dengan pay back period (PP) atau pengembalian modal selama 1,62 tahun dan provitability index (PI) atau perhitungan keuntungan proyek adalah 4 kali selama 25 tahun masa proyek.

Kata kunci : *Penyulang, Drop Tegangan, Susut Daya, Susut Energi, Etap 12.6, Pay back Periode (PP), Provitability Index (PI)*

1. Pendahuluan

Proses penyaluran tenaga listrik secara garis besar yaitu listrik dibangkitkan dari pembangkit - pembangkit yang ada (PLTU, PLTGU, PLTD, PLTA, dan lain - lain) lalu ditransmisikan melalui jaringan transmisi dan di distribusikan ke pelanggan melalui jaringan / penyulang distribusi. Penyulang / Feeder adalah jaringan PLN yang berfungsi menyalurkan / mendistribusikan energi listrik dengan tegangan 20.000 Volt dari Gardu Induk (GI) menuju Gardu Distribusi hingga sampai ke konsumen dengan tegangan 380 Volt atau 220 Volt.

Pada sistem distribusi, setiap penyulang harus memiliki kriteria / persyaratan yang harus dipenuhi meliputi (Hakiki, 2017) :

1. Kontinuitas pelayanan
2. Keandalan yang tinggi
3. Tegangan jatuh yang sekecil mungkin.
4. Pertimbangan ekonomis.

Berdasarkan data dari PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantan, salah satu penyulang yang ada di GI Sei Raya yaitu penyulang Raya 17. Penyulang Raya 17 tersebut memiliki karakteristik kepadatan beban yang tergolong tinggi yaitu 262 A. Apabila terjadi gangguan, beban penyulang Raya 17 hanya bisa di manuver bebannya sebanyak 25% ke penyulang Sahang 1, dikarenakan penyulang Sahang 1 sama-sama memiliki beban yang *overload* (beban lebih) yaitu 233 A. Selain beban yang dilayani, adanya rencana pengembangan daerah Ambawang oleh pemerintah setempat sebagai pusat pemerintahan dan olahraga membuat pertumbuhan industri di daerah Siantan semakin cepat perkembangannya. PT PLN (Persero) sebagai satu-satunya perusahaan milik negara yang mengatur kebutuhan listrik harus mampu melayani seluruh pelanggan baik pelanggan industri, rumah tangga, pemerintahan maupun sosial. Untuk itu, PT PLN (Persero) ULP Siantan selalu berusaha untuk melayani pelanggan-pelanggan yang akan masuk ke daerah Siantan dan sekitarnya.

Dilihat dari kepadatan beban penyulang Raya 17 dan kondisi penyulang lain disekitarnya, penulis melakukan penelitian mengenai Studi Perencanaan Pembangunan Penyulang Baru untuk Pembagian Beban pada Penyulang Raya 17 dan Sahang 1. penambahan penyulang baru hanya ada kemungkinan penambahan penyulang baru. Diharapkan penelitian ini dapat membuat rekomendasi yang tepat baik dari sisi teknis dan non teknis serta dampak yang seminimal mungkin terjadi yang akan dialami oleh PLN selaku perusahaan penyedia tenaga listrik.

2. Dasar Teori

2.1 Kriteria Desain Jaringan Tegangan Menengah^[7]

Sistem Distribusi Tenaga Listrik untuk Tegangan Menengah yang akan dikembangkan adalah Sistem Distribusi Tegangan 20 KV menggunakan hantaran udara dan atau kabel tegangan menengah 20 KV dengan

memperhatikan kepadatan beban, tingkat mutu dan keandalan serta kebutuhan pelanggan.

Beberapa kriteria yang dipertimbangkan adalah :

- 1) Kriteria kepadatan beban
- 2) Pola konfigurasi
- 3) Korelasi drop tegangan
- 4) Korelasi susut terhadap standar jaringan.
- 5) Pengembangan jaringan baru
- 6) Konsistensi antara pembebanan jaringan terhadap standar pola pembebanan.

2.1.1 Kriteria Kepadatan Beban

Dalam mendesain sebuah jaringan listrik, perlu diketahui kepadatan beban dalam satuan KVA / km² , sehingga dapat ditentukan jenis penghantar dan panjang penghantar yang akan mensuplai beban tersebut.

Kriteria kepadatan beban meliputi :

- 1) Beban Ringan
Daerah / lokasi yang mempunyai beban ringan bila terdapat beban kurang dari 0,5 MVA per km².
- 2) Beban Sedang
Daerah / lokasi yang mempunyai beban sedang bila terdapat beban antara 0,5 MVA sampai 1 MVA per km² .
- 3) Beban Padat
Daerah / lokasi yang mempunyai beban padat bila terdapat beban diatas 1 MVA per km².

2.1.2 Pola Konfigurasi Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

Pola konfigurasi jaringan tegangan menengah dapat dipilih dalam 4 kelompok besar, yaitu :

- 1) Konfigurasi radial murni
- 2) Konfigurasi open loop (open ring) non spindel
- 3) Konfigurasi spindel
- 4) Konfigurasi spot network.

Dalam operasionalnya kebanyakan sistem beroperasi radial, sangat jarang sebuah sistem distribusi beroperasi dalam kondisi loop.

Peralatan distribusi yang terpasang di jaringan adalah SSO (saklar seksi otomatis) deteksi tegangan otomatis dilengkapi dengan Fault Section Indicator (FSI), relay OCR dan DGR yang terpasang di sel 20 KV Gardu Induk / Penyulang.

2.1.3 Pola Jaringan berdasarkan Kepadatan Beban

Pola jaringan berdasarkan kepadatan beban terdiri dari pola jaringan untuk beban ringan, beban sedang, beban padat dan pola jaringan untuk pelanggan VVIP. Berikut penjelasannya.

2.1.3.1 Pola Jaringan untuk Beban Ringan

Daerah pedesaan atau beban pedesaan umumnya dioperasikan dengan sistem radial murni. Dalam sistem radial murni jika ada section penyulang yang terganggu pengalihan beban ke penyulang lain tidak ada. Penyulang radial mempunyai tingkat keandalan yang rendah.

2.1.3.2 Pola Jaringan untuk Beban Sedang

Daerah atau lokasi mempunyai kepadatan beban sedang maka daerah tersebut mempunyai tingkat mutu dan keandalan lebih baik. Untuk mendapat kualitas mutu dan keandalan yang diinginkan maka sistem beroperasi dengan sistem *open loop (open ring)* non spindel. Untuk mendukung manuver beban apabila di salah satu *section* jaringan terganggu perlu dipasang peralatan distribusi seperti : LBS, *Recloser*, *Sectionalizer*.

2.1.3.3 Pola Jaringan untuk Beban Padat

Daerah yang mempunyai kepadatan beban padat tingkat keandalan dan mutu pelayanan menjadi tuntutan utama, maka sistem beroperasi dalam konfigurasi Spindel. Apabila area pelayanan cukup luas, maka akan terdapat beberapa *cluster* spindel yang saling terkait guna mendukung keandalan sistem.

2.1.3.4 Pola Jaringan untuk Pelanggan VVIP

Untuk pelanggan yang tidak boleh padam (pelanggan VVIP), maka disuplai dengan Pola Jaringan *Spot Net Work* dengan 2 penyulang sekaligus plus *Automatic Change Over*, misal :

- 1) Istana Presiden / Gedung Gubernur.
- 2) Gedung MPR / DPR / DPRD.
- 3) Bandar Udara.
- 4) Rumah Sakit

2.1.4 Korelasi Drop Tegangan dan Losses terhadap Standar Jaringan

Panjang sebuah jaringan tegangan menengah dapat didesain dengan mempertimbangkan drop tegangan dan susut teknis jaringan.

Untuk mendapatkan nilai drop tegangan dan susut yang dikehendaki perlu memasukkan parameter – parameter antara lain :

- 1) Ukuran (luas penampang) Penghantar
- 2) Beban Nominal Penghantar
- 3) Panjang Jaringan

Berdasarkan SPLN 72:1987 dapat didesain sebuah jaringan tegangan menengah (JTM) dengan kriteria drop tegangan sebagai berikut :

- 1) Jatuh Tegangan Spindel maksimum 2 %
- 2) Jatuh Tegangan Open Loop dan Radial maksimum 5 %

Untuk mendesain jaringan dengan pertimbangan susut jaringan, maka susut jaringan maksimum yang diijinkan :

- 1) Susut maksimum Spindel maksimum 1 %
- 2) Susut maksimum Open Loop dan Radial maksimum 2,3 %

Contoh : Panjang maksimum penyulang 3 x 240 mm² A3C dengan beban nominal / maksimum adalah 7 KMS (Kilo Meter Sirkuit) beban merata.

Dibawah ini merupakan persentase drop tegangan sistem 3 fasa 3 kawat dan 3 fasa 4 kawat yang terjadi untuk beberapa kondisi :

1) Untuk Beban di Ujung dan Seimbang

$$\% \text{Drop Voltage} = \frac{(P \times L \times (R \times \cos\theta + X \times \sin\theta) \times 100 / (kV)^2)}{\dots\dots\dots(2.1)}$$

- 2) Untuk Beban di Tengah dan di Ujung (Seimbang)

$$\% \text{Drop Voltage} = (P \times L \times (R \times \cos\theta + X \times \sin\theta) \times 0,75 \times 100 / (kV)^2) \dots\dots\dots(2.2)$$
- 3) Untuk Beban Merata dan Seimbang

$$\% \text{Drop Voltage} = (P \times L \times (R \times \cos\theta + X \times \sin\theta) \times 0,5 \times 100 / (kV)^2) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- % Drop Voltage = Jatuh Tegangan (%)
- P = Daya Nominal yang tersalur (MVA)
- R = Resistensi Jaringan (Ohm /km)
- X = Reaktansi Jaringan (Ohm/km)
- L = Panjang jaringan (km)
- Cos θ = 0,85
- Sin θ = 0,526
- KV = Tegangan L-L (20 kV)

2.1.5 Korelasi Losses

Jumlah beban yang ada pada tiap – tiap penyulang berbeda-beda tergantung kondisi kepadatan penduduk. PT PLN (Persero) membagi ke dalam 3 (tiga) kelompok yaitu beban diujung, beban ditengah dan diujung, dan beban merata. Ketiga kelompok beban ini diasumsikan dalam kondisi seimbang. Dibawah ini merupakan rumus susut 3 kelompok beban tersebut.

- a. Sistem 3 Fasa 3 Kawat dan 3 Fasa 4 Kawat Beban Diujung (Seimbang)

$$P_{\text{Susut Teknis}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot \text{LLF} \dots\dots\dots(2.4)$$

- b. Sistem 3 Fasa 3 Kawat dan 3 Fasa 4 Kawat Beban Ditengah dan Diujung (Seimbang)

$$P_{\text{Susut Teknis}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot \text{LLF} \cdot \text{LDF} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- I = Arus beban yang mengalir pada Jaringan (Ampere)
- R = Resistansi Jaringan (Ohm/km)
- L = Panjang Jaringan (km)
- LLF = Loss Load Factor (0,69)
- LDF = Load Density Factor (0,625)

- c. Sistem 3 Fasa 3 Kawat dan 3 Fasa 4 Kawat Beban Merata (Seimbang)

$$P_{\text{Susut Teknis}} = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot \text{LLF} \cdot \text{LDF} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

LDF = Load Density Factor (0,333)

- d. Loss Load Factor (LLF)

Loss Load Factor sebagai koefisien yang diperhitungkan dalam menghitung susut sebagai perbandingan antara rugi – rugi daya rata-rata terhadap rugi daya beban puncak.

$$\text{LLF} = 0,3 \cdot \text{LF} + 0,7 \cdot \text{LF}^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

LF = Load Factor Sistem Region (0,8)

Rugi energi di jaringan juga dapat dihitung dengan rumus seperti dibawah ini^[10].

- Daya aktif :
(1 fasa) = $I^2 \times R$ (Watt)(2.8)
(3 fasa) = $3 \times I^2 \times R$ (Watt).....(2.9)

- Rugi energi di jaringan :
(1fasa) = $I^2 \times R \times h$ (Watt hour /1000 (kWh)(2.10)
(3fasa) = $3 \times I^2 \times R \times h$ (Watt hour)/1000 (kWh)(2.11)

2.1.6 Konsistensi Pembebanan terhadap Standar Pola Jaringan

Dalam pengoperasian Jaringan Listrik Tegangan Menengah pembebanan tidak boleh melebihi kemampuan nominal jaringan yang telah direncanakan, sehingga drop tegangan dan susut teknis tercapai.

Tabel 2.1 Penghantar AAAC (All Aluminium Alloy Conductor)

ϕ (mm2)	35	50	70	95	120	150	185	240
ΔV (%)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
R (Ω /km)	0,9774	0,6842	0,4887	0,3601	0,2851	0,228	0,1849	0,1432
X (Ω /km)	0,0536	0,0665	0,0754	0,0884	0,0957	0,1028	0,1094	0,1175
Cos ϕ	0,85							

Sumber :PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan (2010)

2.2 Analisa Aliran Daya (Load Flow Analysis)^[13]

Daya listrik selalu akan mengalir menuju beban (load). Beban dapat digolongkan menjadi dua yaitu beban statis dan beban berputar (dinamis). Beban-beban ini dapat direpresentasikan sebagai impedan tetap (Z), sebagai daya yang tetap (S), tegangan (V) atau arus (I) yang tetap. Tetapi yang biasa dipilih sebagai pembebanan yaitu menggunakan tegangan konstan. Besarnya aliran daya di setiap saluran beserta rugi-ruginya dapat diketahui dengan menghitung lebih dahulu besaran (magnitude) tegangan dan sudut fasornya semua simpul pada sistem. Pada setiap simpul (bus) sistem terdapat 4 parameter yaitu :

1. Daya nyata (real power), simbol P satuan mega watt (MW).
2. Daya semu (reactive power), simbol Q, satuan mega volt ampere reactive (MVAR).
3. Tegangan, simbol V, satuan kilovolt (KV).
4. Sudut fasa tegangan, satuan radian (rad).

Terdapat 3 metode perhitungan aliran yang digunakan untuk perhitungan aliran daya, yaitu :

1. Metode Gauss - Seidel

Perhitungan aliran daya dengan metode Gauss–Seidel mempunyai kelebihan sebagai berikut :

- a. Pemrograman dan perhitungan relatif lebih mudah.
- b. Waktu tiap iterasi singkat.
- c. Sesuai untuk sistem jaringan sedikit.

Sedangkan kelemahannya yaitu :

- a. Pencapaian konvergen lambat.
- b. Makin banyak simpul, makin banyak pula diperlukan iterasi, dan jumlah iterasi juga akan berubah bila bus referensi diganti oleh bus yang lain.
- c. Untuk sistem radial tidak dapat mencapai konvergen.
- d. Untuk perhitungan pada sistem jaringan yang banyak tidak sesuai.

2. Metode Newton – Raphson

Metode Newton–Raphson pada dasar-nya merupakan metode Gauss – Seidel (G-S) yang diperluas dan disempurnakan. Perhitungan aliran daya dengan metode Newton–Raphson (N-R) dianggap efektif dan menguntungkan untuk sistem jaringan yang besar (luas). Metode N-R dapat mengatasi kelemahan pada metode G-S antara lain ketelitian dan jumlah iterasi, karena mempunyai waktu hitung konvergensi yang cepat atau membutuhkan jumlah iterasi yang lebih sedikit.

3. Metode Fast – Decouple

Pemecahan aliran daya dengan metode Fast –Decouple menghendaki iterasi yang lebih banyak daripada metode Newton–Raphson, tetapi dalam tiap iterasi membutuhkan sedikit waktu dan pemecahan aliran daya diperoleh dengan cepat. 5.

2.3 ETAP (Electrical Transient Analysis Program)^[9]

ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) *Power Station* adalah *software* untuk *power sistem* yang bekerja berdasarkan *plant (project)*. Setiap *plant* harus menyediakan *modelling* peralatan dan alat – alat pendukung yang berhubungan dengan analisa yang akan dilakukan. Misalnya generator, data motor, data kabel dan lain - lain. Sebuah *plant* terdiri dari sub-sistem kelistrikan yang membutuhkan sekumpulan komponen elektrik yang khusus dan saling berhubungan. Dalam *Power Station*, setiap *plant* harus menyediakan *data base* untuk keperluan itu. ETAP *Power Station* juga menyediakan fasilitas *Library* yang akan mempermudah desain suatu sistem kelistrikan. *Library* ini dapat diedit atau dapat ditambahkan dengan informasi peralatan bila perlu.

2.4 Teori Ekonomi Teknik dalam Penelitian

a. NPV (*Net Present Value*)

NPV adalah selisih antara *present value* dari investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di masa yang akan datang. Untuk menghitung nilai sekarang perlu ditentukan tingkat bunga yang relevan. NPV menunjukkan manfaat bersih yang diterima dari suatu usaha selama umur usaha tersebut pada tingkat *discount rate* tertentu.

$$NPV = C_0 + (C_n / (1 + r)) \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

C_0 = Jumlah uang yang diinvestasikan (karena ini adalah pengeluaran, maka menggunakan bilangan negatif).

C_n = Uang yang akan diterima di tahun ke-n.

r = *Discount rate/ opportunity cost of capital*.

Tingkat pengembalian/hasil investasi (%) dari investasi yang sebanding

Jika :

$NPV > 0$ (nol) → usaha/proyek layak (*feasible*) untuk dilaksanakan

$NPV < 0$ (nol) → usaha/proyek) /p y tidak layak (*feasible*) untuk dilaksanakan

$NPV = 0$ (nol) → usaha/proyek berada dalam keadaan BEP dimana $TR=TC$ dalam bentuk *present value*.

Untuk menghitung NPV diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan biaya pemeliharaan, serta perkiraan benefit dari proyek yang direncanakan.

b. IRR (*Internal Rate of Return*)

Metode IRR ini digunakan untuk mencari tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang dari arus kas yang diharapkan di masa datang, atau penerimaan kas, dengan mengeluarkan investasi awal. Caranya, dengan menghitung nilai sekarang dari arus kas suatu investasi dengan menggunakan suku bunga yang wajar, misalnya 10 % kemudian di bandingkan dengan biaya investasi, jika nilai investasi lebih kecil, maka di coba lagi dengan penghitungan suku bunga yang lebih tinggi demikian seterusnya sampai biaya investasi menjadi sama besar. Apabila dengan suku bunga wajar tadi nilai investasi lebih besar, maka harus di coba lagi dengan suku bunga yang lebih rendah sampai mendapatkan nilai investasi yang sama besar dengan nilai sekarang.

Rumus IRR :

$$IRR = i' + \frac{NPV' (i'' - i')}{NPV' \pm NPV''} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

i' = Tingkat diskon yang menghasilkan NPV+

i'' = Tingkat diskon yang menghasilkan NPV-

NPV' = *Net Present Value* bernilai positif

NPV'' = *Net Present Value* bernilai negative

Keunggulan dari IRR adalah sebagai berikut :

- Mudah mengkomunikasikan nilai proyek
- Bila IRR cukup tinggi, tidak diperlukan perkiraan *required return*
- Mempertimbangkan seluruh *cash flows*
- Mempertimbangkan nilai uang terhadap waktu
- Menyediakan indikasi risiko

Sedangkan kelemahan dari IRR adalah sebagai berikut :

- Dapat menghasilkan lebih dari satu jawaban
- Tidak dapat merangking proyek yang tidak berhubungan
- Asumsi investasi kembali (*reinvestment*) kurang baik

c. PP (*Pay Back Period*)

Payback period merupakan berapa lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh kembali (*recover*) biaya awal (*initial cost*) dari suatu proyek. Aturan dari pengambilan keputusan penggunaan *payback period* yaitu diterima apabila nilai *payback period* lebih kecil dibandingkan dengan beberapa batas preset.

Keunggulan dari *payback period* adalah :

- Mudah untuk dimengerti
- Menyesuaikan dengan ketidakpastian pada *cash flow*
- Dapat digunakan untuk proyek jangka panjang, seperti penelitian dan pembangunan proyek baru

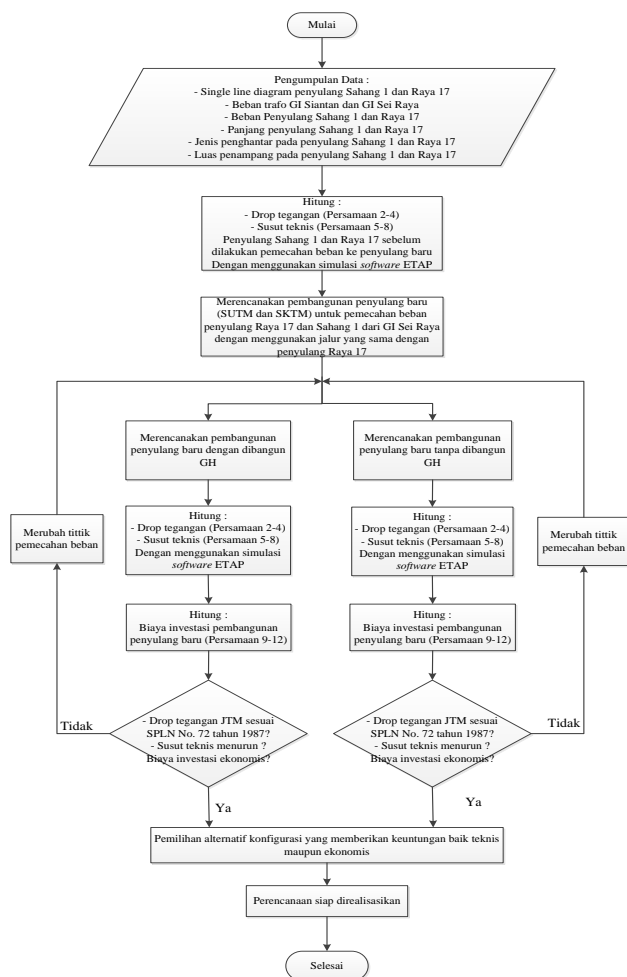
Sedangkan kekurangan dari *payback period* adalah :

- Tidak mempertimbangkan nilai uang terhadap waktu
- Memerlukan titik *cut off* kapan saja

3. Tidak mempertimbangkan *cash flows* di luar waktu *cut off*.

2.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dalam skripsi ini digunakan pada gambar flowchart dibawah ini :



Gambar 2.1 Diagram Alir Analisa Penelitian

3. Data dan Perhitungan

3.1. Kondisi Umum Sistem Kelistrikan PT PLN (Persero) UP3 Pontianak

PT PLN (Persero) Unit Induk Wilayah Kalimantan Barat dibagi menjadi 4 (empat) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) yaitu UP3 Pontianak, UP3 Singkawang, UP3 Sanggau dan UP3 Ketapang. UP3 Pontianak merupakan UP3 yang memiliki data aset paling banyak diantara UP3 yang lain yang berada di Wilayah Kalimantan Barat. Oleh karena itu, suplai energi listrik dari sistem pembangkitan harus mencukupi. Saat ini cadangan energi yang dimiliki oleh sistem khatulistiwa PLN yaitu sekitar 25 % atau 100 MW. Sistem khatulistiwa merupakan sistem jaringan listrik yang saling interkoneksi antara sistem di UP3 Pontianak dan UP3 Singkawang saja.

PT PLN (Persero) UP3 Pontianak di suplai dari 6 Gardu Induk (GI) yaitu GI Sei Raya (GI Sera), GI Siantan, GI Kota Baru (GI Kobar), GI Parit Baru, GI Senggiring, dan GI Ngabang. Keenam GI tersebut mensuplai wilayah kerja dari 7 ULP yang ada di UP3 Pontianak yaitu ULP

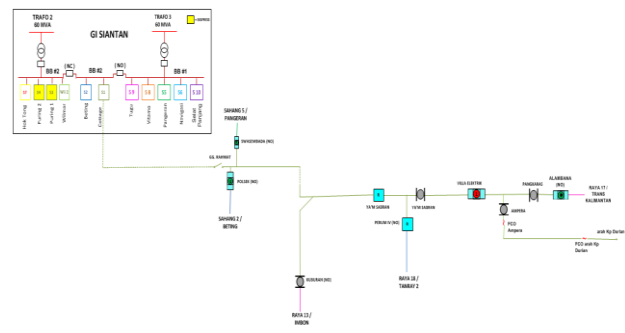
Kota, ULP Jawi, ULP Siantan, ULP Kakap, ULP Mempawah dan ULP Ngabang.



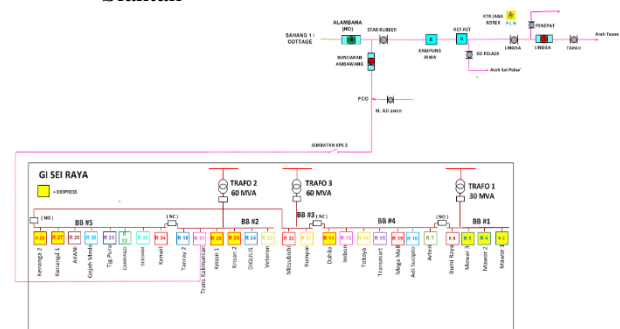
Gambar 3.1 Sistem Pembangkitan PT PLN (Persero) UP3 Pontianak

Sumber : *Single line diagram* PT PLN (Persero) UP3 Pontianak dan Sistem Khatulistiwa

Single line diagram penyalang Sahang 1 dan Raya 17 dapat dilihat pada gambar 3.5 dan 3.6 dibawah ini, dimana pada penyalang tersebut terdapat peralatan pemutus / pemisah dan peralatan proteksi seperti LBS (*Load Break Switch*), LBS RC (*LBS Remote*), dan Recloser.



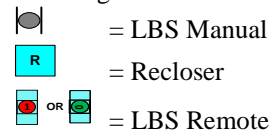
Gambar 3.2 *Single line diagram* Penyalang Sahang 1 / Cottage
Sumber : *Single Line Diagram* PT PLN (Persero) ULP Siantan



Gambar 3.3 *Single line diagram* Penyalang Raya 17 / Trans Kalimantan

Sumber : *Single Line Diagram* PT PLN (Persero) ULP Siantan

Keterangan :



Tabel 3.1 Data Panjang JTM persection berdasarkan GPS penyulang Sahang 1

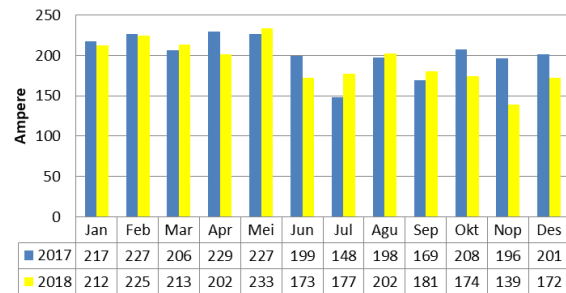
NO	ALAMAT	JML GD	TOTAL	JTM		
		BUAH		KVA	PENGHANTAR	KMS
1	GI - DS SAHANG	-	-	-	XLPE 240 mm ²	-
2	DS SAHANG 1 - LBS KUBURAN (NO)	4,0	400,0	AAACS 240 mm ²	2,7	69
3	LAMPUN MERAH TANJUNG HULU - RECLOSER YA M SABRAN	3,0	520,0	AAACS 150 mm ²	0,5	17
4	RECLOSER YA M SABRAN - MOTORIZE VILLA ELEKTRIK	2,0	200,0	AAACS 150 mm ²	1,1	29
5	SP PANGILIMA AIM - RECLOSER PERUM 4	1,0	160,0	AAACS 150 mm ²	0,2	4
6	RC VILLA ELEKTRIK - LBS PANGKARAS	8,0	660,0	AAACS 150 mm ²	1,6	39
7	LBS PANGKARAS - RC ALAMBANA (NO)	3,0	460,0	AAACS 150 mm ²	0,9	14
TOTAL PANJANG MAINLINE SAHANG 1		21,0	2.400,0	-	6,9	172,0
1	PASAR ANGREGK	3,0	360,0	AAC 50 mm ²	0,1	3
2	GANG KARYA BAKTI	2,0	150,0	AAC 70 mm ²	0,0	2
3	GANG PENTAGON	2,0	200,0	AAC 50 mm ²	0,3	8
4	GEREJA KHATOLIK	1,0	160,0	AAC 50 mm ²	0,0	2
5	TANJUNG RIA	1,0	100,0	AAC 50 mm ²	0,1	3
6	VILLA RIA	2,0	260,0	AAC 50 mm ²	0,5	14
7	MEBEL	1,0	100,0	AAC 50 mm ²	0,1	3
8	VILLA ELEKTRIK	1,0	100,0	AAC 70 mm ²	0,2	4
9	MITRA PERMAI	1,0	100,0	AAC 50 mm ²	0,3	8
10	SAWML TIKUNGAN	1,0	100,0	AAC 50 mm ²	0,1	2
11	VILLA KOTA INTAN	1,0	50,0	AAC 50 mm ²	0,2	5
12	GUDANG PASIR	1,0	200,0	AAC 50 mm ²	0,1	3
13	LBS AMPERA - TRANSKALIMANTAN	11,0	1.080,0	AAACS 150 mm ²	3,9	83
14	PERUM AMPERA INDAH	1,0	160,0	AAC 50 mm ²	0,5	12
15	PERUM VILLA PERMATA AMPERA 1	1,0	100,0	AAAC 150 mm ²	0,2	4
16	DARUSALAM INDAH	1,0	100,0	AAAC 150 mm ²	0,1	3
17	DARUSALAM SEHAHTERA	1,0	160,0	AAAC 150 mm ²	0,3	7
18	DARUSALAM PERMATA	2,0	260,0	AAAC 150 mm ²	0,5	11
19	VILLA PERMATA AMPERA 2	1,0	50,0	AAAC 150 mm ²	0,2	5
20	PERUM PERMATA AMPERA	1,0	100,0	AAAC 150 mm ²	0,2	5
21	DARUSALAM LESTARI DALAM	1,0	100,0	AAAC 150 mm ²	0,2	5
22	PESONA KAYANGAN	1,0	50,0	AAAC 150 mm ²	0,1	3
23	ANOMALI AMEN	1,0	100,0	AAAC 150 mm ²	0,3	5
24	MANUNGAL	1,0	200,0	AAACS 70 mm ²	0,5	12
25	KEMUNDUNG	6,0	375,0	AAACS 70 mm ²	1,6	35
26	SEMERANGKAI	2,0	360,0	AAACS 70 mm ²	0,3	7
TOTAL PANJANG PERCABANGAN		48,0	5.075,0	-	10,8	254,0
TOTAL PANJANG JARINGAN SAHANG 1		69,0	7.475,0	-	17,69	426,0

Tabel 3.2 Data Panjang JTM persection berdasarkan GPS penyulang Raya 17

NO	ALAMAT	JML GD	TOTAL	JTM		
		BUAH		KVA	PENGHANTAR	KMS
1	PANGKAL - RC BUNDRAN	8	1.105	AAACS 150 mm ²	4,6	95
2	RC ALAMBANA - STAR RUBER	12	1.280	AAACS 150 mm ²	7,1	242
3	STAR RUBER - RC KP JAWA	5	620	AAACS 150 mm ²	2,9	238
4	RC KP JAWA - RECLOSER RET2	5	300	AAACS 50 mm ²	4,5	95
5	RECLOSER RET2 - LBS KANTOR JAGA	4	200	AAACS 50 mm ²	3,4	69
6	LBS KANTOR JAGA - RC LINGGA	1	16	AAACS 50 mm ²	0,3	7
7	RC LINGGA - LBS TAPAH	10	775	AAACS 50 mm ²	11,0	213
8	LBS TAPAH - UJUNG	8	800	AAACS 50 mm ²	12,3	103
TOTAL PANJANG MAINLINE RAYA 17		53	5.096	-	46,1	1.062
1	ALLAMIN	10,0	1.160,0	AAACS 150 mm ²	1,6	32
2	GUDANG PRIMA LESTARI	3,0	225,0	AAACS 150 mm ²	0,6	12
3	PERUM 5	2,0	210,0	AAACS 150 mm ²	0,8	16
4	PARIT MASIGH 1	5,0	560,0	AAC 50 mm ²	1,0	20
5	PARIT MASIGH 2	1,0	50,0	AAC 150 mm ²	0,4	8
6	PD UNGGAS	1,0	50,0	AAC 50 mm ²	0,5	10
7	PARIT AIM	4,0	375,0	AAC 120 mm ²	0,7	15
8	PARIT AIM 2	3,0	175,0	AAACS 150 mm ²	0,4	8
9	GRN ARPIS	1,0	160,0	AAC 120 mm ²	1,0	20
10	PARIT ADAM	1,0	200,0	AAC 50 mm ²	0,2	4
11	PARIT ADAM 2	3,0	420,0	AAAC 150 mm ²	1,2	25
12	PARIT SERIBUT	1,0	100,0	AAC 50 mm ²	1,0	20
13	Gg HATI SUJAK	1,0	25,0	AAC 35 mm ²	0,5	10
14	STAR RUBBER	-	-	AAACS 150 mm ²	1,0	20
15	PT. UNGGAS	2,0	1.260,0	AAC 50 mm ²	1,0	20
16	CV. ALINA	1,0	100,0	AAC 35 mm ²	1,7	34
17	PARIT SUMBER AGUNG	3,0	300,0	AAC 50 mm ²	2,0	41
18	SAWML	1,0	100,0	AAACS 150 mm ²	0,2	4
19	BPMK	2,0	200,0	AAACS 150 mm ²	1,3	26
20	PARIT MAHIDIN	2,0	100,0	AAACS 70 mm ²	2,7	54
21	PARIT MARIANA	2,0	200,0	AAC 35 mm ²	2,4	49
22	PARIT 19	2,0	100,0	AAC 50 mm ²	2,4	49
23	C1 (SUT PELAIK)	24,0	1.075,0	AAACS 150 mm ²	46,4	969
24	C2 (PENEPAT)	10,0	675,0	AAC 95 mm ²	17,4	341
25	PENEPAT LINGGA	1,0	50,0	AAC 50 mm ²	1,7	34
26	PARIT HAK HONG	1,0	50,0	AAC 50 mm ²	2,3	46
27	PABRIK PUPUK	1,0	100,0	AAC 150 mm ²	0,0	3
28	REES	1,0	50,0	AAAC 70 mm ²	3,0	60
29	GANG MULYO	1,0	100,0	AAAC 150 mm ²	0,4	11
30	PRC DURIAN - LIMAU	13,0	960,0	AAC 50 mm ²	15,7	314
31	SUB (ZAUATI RES 5)	1,0	100,0	AAC 50 mm ²	0,1	2
32	SUB (AS KENCANA)	1,0	160,0	AAC 50 mm ²	0,1	2
33	SUB (GONDANG LEGI DALAM)	1,0	50,0	AAC 50 mm ²	0,2	3
34	SUB (LAVENDER)	1,0	160,0	AAC 50 mm ²	0,2	4
35	SUB (SARANA BAHAGIA)	1,0	160,0	AAC 50 mm ²	0,3	6
36	SIK	2,0	75,0	AAC 50 mm ²	2,0	40
37	SIMPANG KANAN	1,0	25,0	-	-	-
TOTAL PANJANG PERCABANGAN		111,0	9.860,0	-	113,2	2.332,3
TOTAL PANJANG JARINGAN RAYA 17		164,0	14.956,0	-	159,4	3.394,3

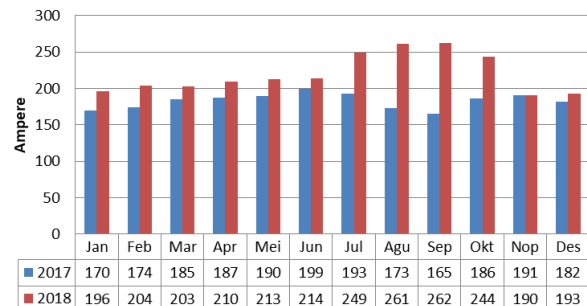
Kondisi saat ini penyulang Raya 17 dipisahkan dengan penyulang Sahang 1 oleh RC Alambana. Selain sering mengalami gangguan dan daerah jangkauan (kms) yang cukup panjang, Raya 17 juga memiliki pembebanan yang berat. Sama halnya dengan Raya 17, Sahang 1 juga memiliki pembebanan yang berat, sehingga apabila terjadi gangguan di salah satu penyulang, kedua penyulang tersebut hanya bisa saling manuver antara LBS Remote Alambana dengan LBS Remote Villa Elektrik saja.

Beban Penyulang Sahang 1



Gambar 3.4 Beban Penyulang Sahang 1 tahun 2017 s/d 2018
Sumber : www.ap2b-kalbar.co.id (data olahan)

Beban Penyulang Raya 17



Gambar 3.5 Beban Penyulang Raya 17 tahun 2017 s/d 2018
Sumber : www.ap2b-kalbar.co.id (data olahan)

3.2 Potensi Penambahan Pelanggan PLN ULP Siantan

Semakin berkembangnya industri-industri terutama di daerah Siantan membuat semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik di daerah tersebut. Saat ini, terdapat 4 (empat) pelanggan industri yang ada di PLN ULP Siantan yang disuplai oleh penyulang Raya 17 yaitu PT Star Rubber (3,4 MVA), PT Giat Usaha Dieng (2,7 MVA), PT Bintang Borneo Persada (1,7 MVA), dan PT Charoen Pokphand (555 KVA). PT Star Rubber dan PT Bintang Borneo Persada akan melakukan penambahan daya masing-masing menjadi 4,3 MVA serta PT Bintang Borneo Persada akan melakukan penambahan daya menjadi 3,4 MVA. Untuk itu diperlukan persiapan yang baik untuk mensuplai pelanggan - pelanggan tersebut. Selain itu, adanya potensi pembangunan di wilayah

Ambawang sebagai pusat pemerintahan menjadi salah satu kajian bagaimana agar listrik tetap terjaga kesediaannya dan semua pelanggan bisa terlayani dengan baik.

Dengan adanya penambahan pelanggan dengan daya 5 MW serta adanya rencana penambahan pembangunan penyulang baru untuk mensuplai lokasi tersebut, maka perlu kita buat perencanaan menggunakan simulasi *software* ETAP terlebih dahulu agar dapat kita ketahui perkiraan susut, tegangan, panjang jaringan serta biaya yang akan dibutuhkan untuk pembangunan penyulang baru tersebut. PLN ULP Siantan juga berencana untuk membangun Gardu Hubung (GH) Ambawang agar kehandalan penyulang Raya 17 lebih baik lagi. Dalam penelitian ini akan menganalisa perbedaan sebelum dan sesudah dilakukan pembagian beban dengan cara simulasi *software* ETAP, menentukan biaya investasi yang diperlukan serta dapat memberikan rekomendasi mengenai pembangunan penyulang baru dengan atau tanpa pembangunan GH.

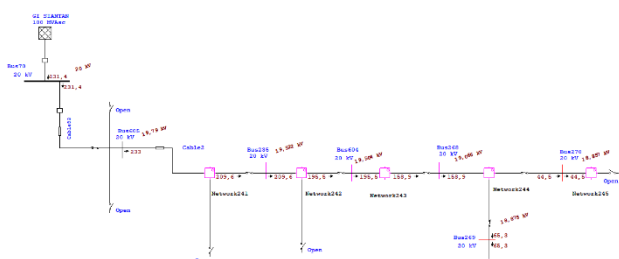
4. Perhitungan dan Analisa

4.1 Kondisi Awal Penyulang Sahang 1

Berdasarkan gambar 3.7, beban total penyulang Sahang 1 yang paling tinggi adalah 233 A. Adapun beban per section pada penyulang Sahang 1 berdasarkan data hasil pengukuran beban di tiap section, maka didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1 Beban Per Section Penyulang Sahang 1

Section	Lokasi Beban Gardu	Beban
1 (Network 241) (A)	Antara DS Gg. Rahmat, LBS remote Swasembada (NO), LBS remote Kuburan (NO) hingga recloser Ya'm Sabran	23,4 A Tegangan 19,790 kV
2 (Network 242) (B)	Antara recloser Ya'm Sabran, recloser Perum 4 dan LBS Ya'm Sabran	14,1 A Tegangan 19,522 kV
3 (Network 243) (C)	Antara LBS Ya'm Sabran, hingga LBS remote Villa Elektrik	36,6 A Tegangan 19,504 kV
4 (Network 244) (D)	Antara LBS remote Villa Elektrik, LBS Ampera hingga LBS Pangkaras	49,1 A Tegangan 19,066 kV
5 (Network 2) (E)	Antara LBS Ampera hingga ujung beban	65,3 A Tegangan 18,875 kV
6 (Network 245) (F)	Antara LBS Pangkaras hingga LBS remote Alambana (NO)	44,5 A Tegangan 18,857 kV



Gambar 4.1 Single line diagram Penyulang Sahang 1 Simulasi Etap

Sumber : Data olahan penulis

4.2 Perhitungan Jatuh Tegangan dan Susut Jaringan Penyulang Sahang 1

Sebelum dilakukan perencanaan pembangunan penyulang baru untuk pembagian beban pada penyulang Sahang 1 dan Raya 17, perlu dilakukan analisa perhitungan drop tegangan dan susut teknis pada saat kondisi awal. Hal ini diperlukan untuk memudahkan dalam membandingkan sebelum dan setelah dilakukan pembagian beban. Dibawah ini merupakan perhitungan drop tegangan dan susut teknis sebelum dilakukan pembagian beban. Berdasarkan persamaan 2 susut teknis untuk beban diujung dan seimbang adalah sebagai berikut :

Data Penyulang Sahang 1 :

Berdasarkan gambar 3.7 beban tertinggi pada Penyulang Sahang 1 sebesar 233 A sehingga daya (P) yang tersalur menjadi :

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \times \sqrt{3} \\
 &= 20.000 \text{ V} \times 233 \text{ A} \times \sqrt{3} \\
 &= 8,071 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

$$L \text{ total} = 17,69 \text{ kms}$$

$$\cos \phi = 0,85$$

$$\sin \phi = 0,526$$

$$KV = 20 \text{ KV (tegangan kirim dari GI)}$$

Jatuh tegangan (ΔV) pada penyulang Sahang 1 akan dihitung per section dengan data seperti pada tabel dibawah ini :

Section 1

Jatuh Tegangan :

$$\begin{aligned}
 \Delta V_A &= I_A \times L \times (R \times \cos \theta + X \times \sin \theta) \\
 &= 233A \times 3kms \times \left(\frac{0,1432\Omega}{km} \times 0,85 + \frac{0,1175\Omega}{km} \times 0,526 \right) \\
 &= 128 \text{ V}
 \end{aligned}$$

$$V_{A(L-N)} = \frac{20.000}{\sqrt{3}} - 128 = 11.419 \text{ V}$$

$$V_{A(L-L)} = 11.419 \text{ V} \times \sqrt{3} = 19.778 \text{ V}$$

Section selanjutnya menggunakan rumus yang sama dengan contoh diatas.

Dibawah ini merupakan perbandingan data antara hasil perhitungan dengan hasil ETAP.

Tabel 4.2 Data Hasil ETAP Penyulang Sahang 1

Section	Beban (A)	L (KMS)	ΔV (V)	V Out ETAP (V)
A	233	3	222,2	19.790
B	209,6	0,4	36,0	19.522
C	195,5	2,09	436,3	19.504
D	158,9	2,3	156,9	19.066
E	65,3	6,6	185,0	18.875
F	44,5	3,3	115,7	18.857
TOTAL		17,69		

Persentase drop tegangan berdasarkan hasil ETAP :

$$\% \Delta v = (20.000 - 18.857) \times 100 / 20.000 = 5,72 \%$$

Adapun perhitungan susut daya adalah sebagai berikut (persamaan 9):

Section 1

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Susut (A)}} &= 3 \times I^2 \times (R \times L) \\
 &= 3 \times 233^2 \text{ A} \times (0,1432 \Omega/\text{km} \times 3 \text{ km}) \\
 &= 70 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{Susut Total}} &= P_{\text{Susut (A)}} + P_{\text{Susut (B)}} + P_{\text{Susut (C)}} + P_{\text{Susut (D)}} + P_{\text{Susut (E)}} + P_{\text{Susut (F)}} \\
 &= (70 + 12,02 + 164 + 39,72 + 19,25 + 9,58) \text{ kW} \\
 &= 314,57 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Adapun perhitungan susut energi dalam 1 (satu) bulan adalah sebagai berikut (persamaan 11):

Section 1

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Susut (A)}} &= 3 \times I^2 \times (R \times L) \times 24 \times 30 / 1000 \\
 &= 3 \times 233^2 \text{ A} \times (0,1432 \Omega/\text{km} \times 3 \text{ km}) \times 720 / 1000 \\
 &= 50.376,72 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{\text{Susut Total}} &= E_{\text{Susut (A)}} + E_{\text{Susut (B)}} + E_{\text{Susut (C)}} + E_{\text{Susut (D)}} + E_{\text{Susut (E)}} + E_{\text{Susut (F)}} \\
 &= (50,4 + 8,65 + 118,08 + 28,6 + 13,86 + 6,9) \text{ kWh} \\
 &= 249,17 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Berikut tabel hasil perhitungan susut daya dan susut energi penyulang Sahang 1 dalam bentuk tabel untuk memudahkan dalam menganalisa.

Tabel 4.3 Perhitungan Susut Penyulang Sahang 1

Section	Beban (A)	L (KMS)	R (Ω/km)	Waktu	Psusut (kW)	Esusut (kWh)
A	233	3	0,1432	720	70	50.376,72
B	209,6	0,4	0,228	720	12,02	8654,3
C	195,5	2,09	0,6842	720	164	118.052,9
D	158,9	2,3	0,228	720	39,72	28.599,9
E	65,3	6,6	0,228	720	19,25	13.859,9
F	44,5	3,3	0,4887	720	9,58	6.898,1
Total	17,69				314,57	226.441,8

Berdasarkan hasil perhitungan ETAP, susut daya pada penyulang Sahang 1 sama dengan hasil perhitungan yaitu 314 kW (lampiran 3).

Sesuai data beban penyulang Sahang 1 pada gambar 3.7, nilai beban rata-rata pada penyulang Sahang 1 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Irata-rata} &= \frac{(212+225+213+202+233+173+177+202+181+174+139+172) \text{ A}}{12} \\
 \text{Irata-rata} &= 192 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Daya yang terpakai selama tahun 2018 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \sqrt{3} \times V \times \text{Irata-rata} \times \cos \mu \\
 &= \sqrt{3} \times 20000 \text{ V} \times 192 \text{ A} \times 0,85 \\
 &= 5.653.413 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Untuk energi yang terpakai selama tahun 2018 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 E &= P \times t \text{ (waktu dalam 1 bulan)} \\
 &= (5.653.413 \times 720) / 1000 \\
 &= 4.070.457 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data diatas, presentase susut pada penyulang Sahang 1 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Susut daya} &= (P_{\text{susut}} / P_{\text{produksi}}) \times 100\% \\
 &= (314 \text{ kW} / 5.653.413 \text{ W}) \times 100 \\
 &= 5,56 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Susut energi} &= (E_{\text{susut}} / E_{\text{produksi}}) \times 100\% \\
 &= (226.441,8 \text{ kWh} / 4.070.457 \text{ kWh}) \times 100 \\
 &= 5,56 \%
 \end{aligned}$$

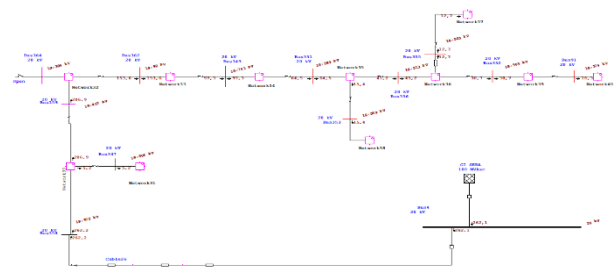
4.3 Kondisi Awal Penyulang Raya 17

4.3.1 Beban Penyulang Raya 17

Berdasarkan gambar 3.8, beban total penyulang Raya 17 yang paling tinggi adalah 262 A. Adapun beban per section pada penyulang Raya 17 berdasarkan data hasil pengukuran beban di tiap *section*, maka didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4 Beban Per Section Penyulang Raya 17

Section	Lokasi Beban Gardu	Beban
1 (network 30)	Antara DS Jembatan Kapuas 2, hingga pertigaan fco Durian	19,3 A Tegangan 19,972 KV
1A (network 30)	Dari pertigaan fco Durian hingga RC/LBS remote Bundaran Ambawang	7 A Tegangan 19,519 KV
1B (network 30)	Dari Durian hingga ujung penyulang	28,9 A Tegangan 19,508 KV
2 (network 31)	Dari LBS H. Ali Amin hingga ujung penyulang	5,2 A Tegangan 19,806 KV
3 (network 32)	Dari RC Bundaran Ambawang hingga RC Alambana	19,2 A Tegangan 19,413 KV
3A (network 32)	Dari fco Gardu SN 0912 hingga fco Gardu SN 0056	26,1 A Tegangan 19,398 KV
3B (network 32)	Dari Gardu SN 0057 hingga LBS Star Rubber	9,7 A Tegangan 19,052 KV
4 (network 33)	Antara LBS Star Rubber hingga recloser Kampung Jawa	22,2 A Tegangan 18,861 KV
4A (network 33)	Gardu PT Star Rubber	23,1 A Tegangan 18,842 KV
4B (network 33)	Gardu PT GUD	10,9 A Tegangan 18,786 KV
5 (network 34)	Antara recloser Kampung Jawa hingga fco Gardu Tower	26,1 A Tegangan 18,687 KV
5A (network 34)	Dari fco Gardu SN 0072 hingga recloser Ret - Ret	6,4 A Tegangan 18,534 KV
6 (network 35)	Antara recloser Ret-ret, LBS Sei Pelaik, hingga LBS Lingga	3,9 A Tegangan 18,249 KV
7 (network 38)	Antara LBS Sei Pelaik hingga fco Gardu SN 0106	7 A Tegangan 18,192 KV
7A (network 38)	Antara fco percabangan Parit Bugis hingga ujung pepenyulang	8,1 A Tegangan 18,155 KV
8 (network 36)	Antara LBS Lingga, LBS Penepat, hingga RC Lingga	1,7 A Tegangan 18,036 KV
9 (network 37)	Antara LBS Penepat hingga fco Gardu PDAM	8,6 A Tegangan 18,020 KV
9A (network 37)	Dari fco Gardu SN 0095 Tambak hingga ujung penyulang	3,9 A Tegangan 17,978 KV
10 (network 39)	Antara RC Lingga hingga fco Gardu SN 0914	2,4 A Tegangan 17,941 KV
10A (network 39)	Dari fco Gardu SN 0082 hingga LBS Tapah	11,6 A Tegangan 17,855 KV
11 (network 40)	Antara LBS Tapah hingga ujung penyulang	15,7 A Tegangan 17,651 KV



Gambar 4.2 Single line diagram Penyulang Raya 17 / Trans Kalimantan Simulasi Etap

4.3.2 Perhitungan Jatuh Tegangan dan Susut Jaringan Penyulang Raya 17

Sama halnya dengan penyulang Sahang 1, penyulang Raya 17 juga perlu dilakukan analisa perhitungan drop tegangan dan susut teknis sebelum dilakukan pembagian beban.

Data Penyulang Raya 17 :

Berdasarkan gambar 3.8 beban tertinggi pada Penyulang Sahang 1 sebesar 262 A sehingga daya (P) yang tersalur menjadi :

$$\begin{aligned} P &= V \times I \times \sqrt{3} \\ &= 20.000 \text{ V} \times 260 \text{ A} \times \sqrt{3} \\ &= 9,00 \text{ MVA} \end{aligned}$$

$$L \text{ total} = 160 \text{ kms}$$

$$\cos \varphi = 0,85$$

$$\sin \varphi = 0,526$$

$$KV = 20 \text{ KV (tegangan kirim dari GI)}$$

Rumus menghitung drop tegangan sama dengan penyulang Sahang 1.

Persentase drop tegangan berdasarkan hasil ETAP :

$$\begin{aligned} \% \Delta V &= (20.000 - 17.651) \times 100 / 20.000 = 11,75 \\ \% \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Data Hasil ETAP Penyulang Raya 17

Section	Beban (A)	L (KMS)	ΔV (V)	V Out ETAP (V)
A	260	3,95	329,0	19.972
B	211,8	1,6	146,9	19.519
C	28,9	18,4	229,1	19.508
D	5,2	1,55	3,5	19.806
E	19,2	4,2	34,6	19.413
F	185,6	4,5	362,6	19.398
G	161,3	3,2	222,0	19.052
H	151,6	5,6	369,8	18.861
I	23,1	1,5	14,9	18.842
J	10,9	1,5	7,0	18.786
K	95,4	7,8	325,8	18.687
L	69,3	5,4	162,3	18.534
M	62,9	3,4	94,2	18.249
N	15,1	28,3	187,1	18.192
O	8,1	19,6	69,8	18.155
P	43,9	0,3	5,8	18.036
Q	12,5	10,2	55,6	18.020
R	3,9	7,2	12,1	17.978
S	29,7	6	79,1	18.016
T	27,3	8,94	108,6	17.855
U	15,7	16,3	114,1	17.651
	TOTAL	159,44		

Berikut susut daya dan susut energi semua section penyulang Raya 17 dalam bentuk tabel.

Tabel 4.6 Susut Daya Penyulang Raya 17

Section	Beban (A)	L (KMS)	R (Ω /km)	Waktu	Psusut (kW)	Esusut (kWh)
A	260	3,95	0,1432	720	114,7	82.592
B	211,8	1,6	0,228	720	49,1	35.348
C	28,9	18,4	0,228	720	10,5	7.568
D	5,2	1,55	0,228	720	0,03	21
E	19,2	4,2	0,228	720	1,1	763
F	185,6	4,5	0,228	720	106,0	76.341
G	161,3	3,2	0,228	720	56,9	41.002
H	151,6	5,6	0,228	720	88,0	63.383
I	23,1	1,5	0,228	720	0,5	394
J	10,9	1,5	0,228	720	0,1	88
K	95,4	7,8	0,228	720	48,6	34.961
L	69,3	5,4	0,228	720	17,7	12.772
M	62,9	3,4	0,228	720	9,2	6.625
N	15,1	28,3	0,228	720	4,4	3.178
O	8,1	19,6	0,228	720	0,9	633
P	43,9	0,3	0,228	720	0,4	285
Q	12,5	10,2	0,228	720	1,1	785
R	3,9	7,2	0,228	720	0,1	54
S	29,7	6	0,228	720	3,6	2.606
T	27,3	8,94	0,228	720	4,6	3.281
U	15,7	16,3	0,228	720	2,7	1.979
	Total	159,44			520	374.658

Berdasarkan hasil perhitungan ETAP, susut daya pada penyulang Raya 17 sama dengan hasil perhitungan yaitu 520 kW (lampiran 4).

Sesuai data beban 1 pada gambar 3.7, nilai beban rata-rata pada penyulang Raya 17 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Irata-rata} &= \\ &= (196+204+203+210+213+214+249+261+262+244+190+ \\ &\quad 193) \text{ A} / 12 \\ \text{Irata-rata} &= 220 \text{ A} \end{aligned}$$

Daya yang terpakai selama tahun 2018 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \times V \times \text{Irata-rata} \times \cos \mu \\ &= \sqrt{3} \times 20000 \text{ V} \times 220 \text{ A} \times 0,85 \\ &= 6.477.870 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Untuk energi yang terpakai selama tahun 2018 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E &= P \times t \text{ (waktu dalam 1 bulan)} \\ &= (6.477.870 \times 720) / 1000 \\ &= 4.664.066,4 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Berdasarkan data diatas, presentase susut pada penyulang Raya 17 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \% \text{ Susut daya} &= (P \text{ susut} / P \text{ produksi}) \times 100\% \\ &= (520.000 \text{ Watt} / 6.477.870 \text{ Watt}) \times 100 \\ &= 8,03 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Susut energi} &= (E \text{ susut} / E \text{ produksi}) \times 100\% \\ &= (374.658 \text{ kWh} / 4.664.066,4 \text{ kWh}) \times 100 \\ &= 8,03 \% \end{aligned}$$

4.4 Perhitungan Potensi Penambahan pelanggan

Siantan merupakan salah satu daerah yang tengah dikaji dalam hal pengembangan kawasan industri oleh pemerintah Kota Pontianak. Menurut Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Pontianak, Amirullah mengatakan bahwa dalam rencana tata ruang, wilayah Siantan yang berada di Kecamatan Pontianak Utara akan dijadikan sebagai kawasan agribisnis, industri, dan pemukiman (Antara, 27 Februari 2018). Evaluasi dan kajian tersebut masih terus dikerjakan oleh Pemerintah Kota Pontianak. Saat ini pelanggan industri yang akan berencana melakukan pengembangan industrinya di daerah Siantan adalah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur karet. Untuk mendukung operasional dan pengembangan perusahaan, terdapat dua industri yang akan melakukan penambahan daya yaitu PT Star Rubber dan PT Bintang Borneo Persada. Kedua perusahaan karet ini akan melakukan penambahan daya masing – masing dari daya 3,4 MVA menjadi 4,3 MVA dan daya 1,7 MVA menjadi 2,7 MVA. Adapun perhitungan penambahan daya yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut:

$$\text{PT Star Rubber : } S = 4,3 \text{ MVA} - 3,4 \text{ MVA} = 0,9 \text{ MVA}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kv}} = \frac{900 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kv}} = 26 \text{ A}$$

$$\text{PT Bintang Borneo Persada : } S = 2,7 \text{ MVA} - 1,7 \text{ MVA} = 1 \text{ MVA}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kv}} = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kv}} = 29 \text{ A}$$

Penambahan daya yang diperlukan yaitu sekitar 55 A untuk 2 (dua) perusahaan tersebut. PT Star Rubber pada gambar 4.2 hal 59 terdapat pada section I4A atau I dengan penambahan beban sebesar 0,9 MVA atau 26 A. sedangkan PT Bintang Borneo Persada terdapat pada section I5 atau J dengan penambahan beban sebesar 1 MVA atau 29 A. Penambahan daya tersebut harus dipersiapkan secara matang oleh PLN sebagai penyedia jasa kelistrikan. Kondisi saat ini kedua penyulang yang menyuplai PT Star Rubber dan PT Bintang Borneo Persada adalah penyulang Raya 17 yang notabene mengalami susut dan drop tegangan. Apabila pembebanan ditambah namun masih menggunakan penghantar dengan ukuran yang sama, maka susut akan semakin besar. Berikut penjelasan susut penyulang Raya 17 apabila dilakukan penambahan beban.

Persentase drop tegangan berdasarkan hasil ETAP :
 $\% \Delta v = (20.000 - 17.365) \times 100 / 20.000 = 13,2 \%$

Berdasarkan penjelasan pada point sebelumnya mengenai drop tegangan dan susut kWh dari hasil perhitungan dan simulasi Etap pembagian beban penyulang Raya 17 dan Sahang 1 setelah pembagian beban dengan dibangun GH dan tanpa dibangun GH dapat kita ringkas dalam data di bawah ini.

Tabel 4.7 Analisa Penyulang Sahang 1 Sebelum dan Sesudah Pembagian Beban

SAHANG 1	KONDISI AWAL		PLAN A		PLAN B	
	Beban (I) = 233,7 A		Beban (I) = 190,5 A		Beban (I) = 190,5 A	
	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP
kWh Produksi (kWh)	2.893.154	2.893.154	2.893.154	2.893.154	2.893.154	2.893.154
P (MVA)	8,1	8,1	6,6	6,6	6,6	6,6
Vin (V)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Vout (V)	18.838	18.994	19.141	19.240	19.143	19.254
L (KMS)	17,69	17,69	14,39	14,39	14,39	14,39
Drop Tegangan (V)	1.162	1.006	859	760	857	746
% Δv	5,81%	5,03%	4,29%	3,80%	4,29%	3,73%
Psusut (kWh)	223.406	218.592	142.692	137.304	142.311	136.800
% susut	9,16%	7,6%	4,93%	4,75%	4,92%	4,73%

Tabel 4.8 Analisa Penyulang Raya 17 Kondisi Awal

RAYA 17	Beban (I) = 262 A		Beban (I) = 309,5 A	
	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP
kWh Produksi (kWh)	3.050.858	3.050.858	3.176.714	3.176.714
P (MVA)	9,08	9,08	10,72	10,72
Vin (V)	20.000	20.000	20.000	20.000
Vout (V)	17.651	18.374	17.192	18.069
L (KMS)	160,00	160,00	160	160
Drop Tegangan (V)	2.349	1.626	2.808	1.931
% Δv	11,72%	7,80%	14,04%	9,67%
Psusut (kWh)	383.223	310.824	576.490	436.680
% susut	12,6%	10%	18,1%	13,7%

Tabel 4.9 Analisa Penyulang Raya 17 Setelah Pembagian Beban dengan Dibangun GH

PLAN A	TRANSKALIMANTAN		KOREK		STAR RUBBER		PT GUD		PT BORNEO PERSADA	
	RAYA 17		RAYA 17A		RAYA 17B		RAYA 17C		RAYA 17D	
	Beban (I) = 178,6 A		Beban (I) = 81 A		Beban (I) = 83,2 A		Beban (I) = 85,4 A		Beban (I) = 55,4 A	
	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP
kWh Produksi (kWh)	1.833.153	1.833.153	831.385	831.385	853.964	853.964	568.625	568.625	568.625	568.625
P (MVA)	6,2	6,2	2,80	2,80	2,88	2,88	1,92	1,92	1,92	1,92
Vin (V)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Vout (V)	19.499	19.051	18.544	19.061	19.667	19.542	19.736	19.550	19.692	19.521
L (KMS)	46,30	46,30	130	130	12,60	12,60	15	15	18	18
Drop Tegangan (V)	501	949	1.456	939	333	438	264	450	308	479
% Δv	2,51%	4,75%	7,28%	4,70%	1,67%	2,29%	1,32%	2,25%	1,54%	2,40%
Psusut (kWh)	82.827	82.368	84.929	84.279	26.978	26.690	14.240	14.142	16.613	16.083
% susut	4,52%	4,49%	10,22%	10,14%	3,16%	3,13%	2,50%	2,49%	2,92%	2,83%

Kelebihan :

- Dapat melakukan manuver dari 2 sumber trafo yang berbeda
- Drop tegangan dan susut kWh masih sesuai dengan standar yang ditetapkan
- Pelanggan industri dapat menambah pelayanan menjadi pelanggan premium PLN
- Dapat meningkatkan kehandalan dan kontinuitas suplai listrik ke pelanggan

Kekurangan :

- Adanya biaya pembangunan GH
- Susut kWh yang dihasilkan lebih besar dibanding tanpa GH, karena sambungan jaringan yang ada lebih banyak

Tabel 4.10 Analisa Penyulang Raya 17 Setelah Pembagian Beban tanpa Dibangun GH

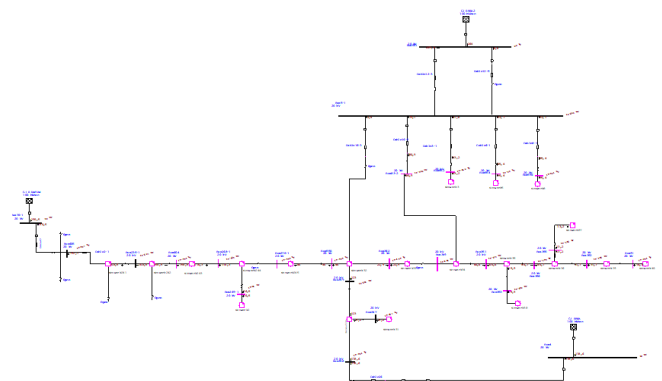
PLAN B	TRANSKALIMANTAN		KOREK		STAR RUBBER		PT GUD & PT BBP	
	RAYA 17		RAYA 17A		RAYA 17B		RAYA 17C	
	Beban (I) = 178,2 A		Beban (I) = 79 A		Beban (I) = 84 A		Beban (I) = 106,6 A	
	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP	Hitung	ETAP
kWh Produksi (kWh)	1.833.153	1.833.153	831.385	831.385	853.964	853.964	1.137.250	1.137.250
P (MVA)	6,2	6,2	2,80	2,80	2,88	2,88	1,92	1,92
Vin (V)	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000	20.000
Vout (V)	19.358	19.511	18.619	19.409	19.648	19.790	19.598	19.643
L (KMS)	46,30	46,30	130	130	12,60	12,60	15	15
Drop Tegangan (V)	642	489	1.381	591	352	210	402	357
% Δv	3,21%	2,45%	6,91%	2,96%	1,76%	1,05%	2,01%	1,79%
Psusut (kWh)	82.587	81.392	84.929	79.265	28.878	29.056	18.084	18.038
% susut	4,51%	4,44%	10,22%	9,53%	3,38%	3,40%	1,59%	1,59%

Kelebihan :

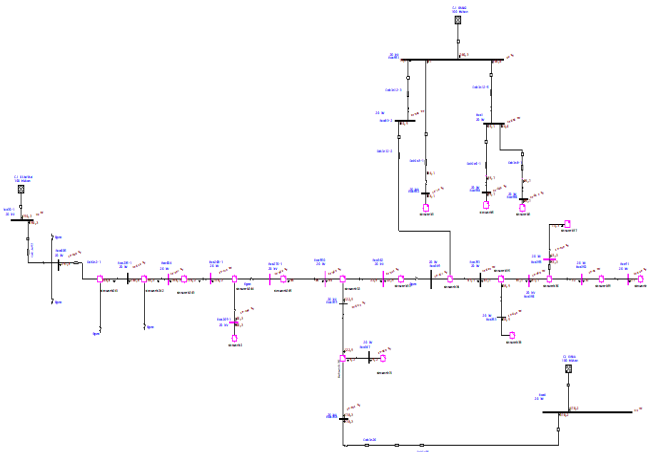
- Drop tegangan dan susut kWh yang dihasilkan lebih kecil dibanding dengan dibangun GH
- Material dan biaya yang dikeluarkan lebih sedikit dibanding dengan dibangun GH

Kekurangan :

- Tidak bisa melakukan manuver karena jaringan bersifat radial
- Tidak dapat menawarkan layanan premium kepada pelanggan karena hanya disuplai dari satu penyulang saja



Gambar 4.3 Single line diagram Penambahan Penyulang Baru dengan Dibangun GH (Simulasi Etap)
 Sumber : Data olahan penulis



Gambar 4.4 *Single line diagram* Penambahan Penyulang Baru tanpa Dibangun GH (Simulasi Etap)
Sumber : Data olahan penulis

4.5 Perhitungan Ekonomi Teknik dengan Dibangun GH

Perencanaan penambahan penyulang baru dengan dibangun GH menghabiskan biaya sekitar 42,7 milyar. Dibawah ini merupakan spesifikasi teknik material yang dibutuhkan untuk penambahan penyulang baru dengan dibangun GH.

Berdasarkan data diatas, biaya yang dikeluarkan untuk pembanguan GH dan penambahan penyulang baru yaitu sebesar 42,7 milyar dengan biaya pemeliharaan pertahun sebesar 10% dari total pengeluaran. Pendapatan atau penghematan selama 1 tahun sebanyak 26,8 milyar sehingga :

- *Pay back periode* (PP)

$$PP = \text{benefit 1 tahun} / \text{investasi}$$

$$= \text{Rp } 26.398.447.540 / \text{Rp } 42.714.866.000$$

$$= 1,62$$

Jadi, waktu yang diperlukan untuk memperoleh kembali biaya investasi yang dikeluarkan yaitu selama 1,62 tahun.
- *Net Present Value* (NPV)
 NPV merupakan selisih antara PP dari investasi dengan *benefit* yang akan datang dengan *discount rate* 15%.

$$NPV = C_0 + (C_1 / (1 + r))$$

$$= \text{Rp } 42.714.866.000 + (\text{Rp } 26.398.447.540 / (1 + 0,15))$$

$$= \text{Rp } 127.928.634.518$$

Jadi, selama 25 tahun proyek tersebut keuntungan yang didapat sebanyak Rp 127.928.634.518.
- *Provitality Index* (PI)
 PI merupakan perhitungan keuntungan terhadap waktu, maka apabila $PI > 0$ maka proyek dianggap layak.

$$PI = (NPV - \text{investasi}) / \text{investasi}$$

$$= (\text{Rp } 127.928.634.518 + (- \text{Rp } 42.714.866.000)) / \text{Rp } 42.714.866.000$$

$$= 4 \text{ kali}$$

Jadi selama 25 tahun keuntungan yang didapat sebanyak 4 kali dari investasi awal yang dikeluarkan.

- *Internal Rate of Return* (IRR)

IRR pada proyek ini sebesar 62%. IRR digunakan untuk menghitung apakah investasi yang ditanam lebih tinggi dari discount rate atau tidak. Jika lebih tinggi, maka proyek dinilai layak dilakukan dan sebaliknya jika IRR lebih rendah dari discount rate maka proyek dinilai tidak layak. Pada perhitungan perencanaan pembangunan penyulang baru diatas, nilai IRR lebih tinggi daripada nilai discount rate yang hanya 15% sehingga pembangunan proyek ini dinilai layak untuk dilakukan.

4.6 Perhitungan Ekonomi Teknik Tanpa Dibangun GH

Perencanaan penambahan penyulang baru tanpa dibangun GH menghabiskan biaya sekitar 31,6 milyar. Dibawah ini merupakan spesifikasi teknik material yang dibutuhkan untuk penambahan penyulang baru dengan dibangun GH.

Berdasarkan data diatas, biaya yang dikeluarkan untuk pembanguan GH dan penambahan penyulang baru yaitu sebesar 31,6 milyar dengan biaya pemeliharaan pertahun sebesar 10% dari total pengeluaran. Pendapatan atau penghematan selama 1 tahun sebanyak 26,8 milyar sehingga :

- *Pay back periode* (PP)

$$PP = \text{benefit 1 tahun} / \text{investasi}$$

$$= \text{Rp } 26.670.780.520 / \text{Rp } 31.613.528.000$$

$$= 1,19$$

Jadi, waktu yang diperlukan untuk memperoleh kembali biaya investasi yang dikeluarkan yaitu selama 1,19 tahun.
- *Net Present Value* (NPV)
 NPV merupakan selisih antara PP dari investasi dengan *benefit* yang akan datang dengan *discount rate* 15%.

$$NPV = C_0 + (C_1 / (1 + r))$$

$$= \text{Rp } 31.613.528.000 + (\text{Rp } 26.670.780.520 / (1 + 0,15))$$

$$= \text{Rp } 140.790.373.502$$

Jadi, selama 25 tahun proyek tersebut keuntungan yang didapat sebanyak Rp 140.790.373.502.
- *Internal Rate of Return* (IRR)
 IRR pada proyek ini sebesar 84%. Hal ini berarti perencanaan pada proyek plan B ini juga layak dilakukan karena nilai IRR lebih besar daripada nilai *discount rate*. IRR pada plan B memang lebih tinggi dibanding pada plan A dikarenakan biaya pembangunan plan A lebih besar dibandingkan dengan plan B.

Pembangunan penyulang baru dengan di bangun GH dan tanpa dibangun GH memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing. Berdasarkan hasil perhitungan teknis, simulasi Etap, dan berdasarkan hasil perhitungan ekonomi teknik, untuk mengatasi masalah drop tegangan dan susut kWh pada penyulang Raya 17 dan Sahang 1, dari segi biaya, drop tegangan dan susut kWh yang dihasilkan pada penambahan penyulang baru dengan tanpa dibangun GH lebih kecil dibanding dengan dibangun GH. Namun, apabila tanpa di bangun GH, terdapat kekurangan yaitu tidak bisa dilakukan manuver apabila terjadi gangguan sistem. Selain kebutuhan akan suplai listrik yang harus dijaga, kehandalan sistem tetap perlu diperhatikan guna meningkatkan kualitas pelayanan kepada pelanggan PLN sehingga penjualan kWh tetap berjalan dengan lancar tanpa gangguan. Sehingga pada penelitian kali ini, penulis memilih untuk mengambil pilihan menambah penyulang baru dengan membangun GH untuk mengatasi permasalahan drop tegangan dan susut kWh pada penyulang Sahng 1 dan Raya 17.

5. Kesimpulan

1. Pada kondisi awal, penyulang Sahang 1 dengan beban 233,7 A memiliki drop tegangan 5,81% dan susut kWh 9,16% sedangkan penyulang Raya 17 dengan beban 262 A memiliki drop tegangan 11,72% dan susut kWh 12,6%.
2. Adanya perencanaan penambahan daya untuk penyulang industri sebanyak 55 A dan pembangunan pusat pemerintahan di daerah Sui Ambawang.
3. Terdapat 2 alternatif untuk mengatasi masalah drop tegangan dan susut kWh penyulang Sahang 1 dan Raya 17 apabila dilakukan penambahan beban yaitu dengan menambah pembangunan penyulang baru dengan dibangun gardu hubung (GH) dan tanpa dibangun GH.
 - Apabila dengan dibangun GH, pada penyulang Sahang 1 drop tegangan menjadi 4,29% dan susut kWh 4,93%. Terdapat 2 *incoming* menuju GH Siantan dan 5 *outgoing* untuk memecah beban penyulang Raya 17 yaitu Raya 17, Raya 17A, Raya 17B, Raya 17C dan Raya 17D dengan drop tegangan yang dihasilkan masing – masing setelah pembagian beban yaitu 2,51%, 7,28%, 1,67%, 1,32% dan 1,54% dan susut kWh yang dihasilkan masing-masing penyulang sebesar 4,52%, 10,22%, 3,16%, 2,50% dan 2,92%. Biaya investasi sebesar 42 milyar dengan *pay back periode* (PP) 1,62 dan *profitability index* 4 kali selama 25 tahun.
 - Apabila tanpa dibangun GH, pada penyulang Sahang 1 drop tegangan menjadi 4,29% dan susut kWh 4,92%. Terdapat 3 *outgoing* dari trafo 1 GI Sei Raya yang langsung menuju beban untuk memecah beban penyulang Raya 17 menjadi penyulang Raya 17, Raya 17A, Raya 17B dan Raya 17C dengan drop tegangan yang dihasilkan masing – masing setelah pembagian beban yaitu 3,21%, 6,91%, 1,76% dan 2,01% dan susut kWh yang dihasilkan masing-masing

penyulang sebesar 4,51%, 10,22%, 3,38% dan 1,59%. Biaya investasi sebesar 31,6 milyar dengan *pay back periode* (PP) 1,19 dan *profitability index* 5,5 kali selama 25 tahun.

4. Kelebihan pembangunan penyulang baru dengan GH yaitu dapat dilakukan manuver dari 2 sumber trafo yang berbeda serta dapat meningkatkan kehandalan dan kontinuitas suplai listrik ke pelanggan. Drop tegangan dan susut kWh yang dihasilkan masih sesuai dengan standar yang ditetapkan. Adapun kekurangan dari adanya pembangunan GH yaitu biaya yang dikeluarkan untuk investasi lebih besar.
5. Kelebihan dari pembangunan penyulang baru tanpa dibangun GH yaitu drop tegangan dan susut kWh yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan dibangun GH. Material dan biaya yang dikeluarkan lebih sedikit dibanding dengan dibangun GH. Kekurangannya adalah tidak bisa dilakukan manuver ke jaringan lain karena bersifat radial serta tidak dapat menawarkan layanan premium kepada pelanggan karena hanya disuplai dari satu penyulang/sumber saja.
6. Berdasarkan hasil perencanaan diatas, penulis memilih untuk melakukan penambahan penyulang baru dengan di bangun GH dikarenakan dari segi kehandalan dan kontinuitas suplai listrik lebih baik dibanding tanpa dibangun GH.

Referensi

- [1] Alfredo, Donald, dkk. 2016. “Analisa Perhitungan Susut Daya dan Energi dengan Pendekatan Kurva Beban pada Jaringan Distribusi PT PLN (Persero) Area Pekanbaru”. Universitas Riau. Pekanbaru.
- [2] Hamdi. 2004. “Evaluasi Keandalan Jaringan Sistem Distribusi 20 KV PT PLN (Persero) Wilayah V Cabang Singkawang”. Pontianak.
- [3] Khoiriyah, Siti. 2018. “Analisa Susut Daya dan Energi pada Jaringan Distribusi Gardu Induk Bringin Penyulang BRG-4 menggunakan Software ETAP 12.6”. Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- [4] Nasution, Fitri Yanti, dkk. 2009. “Perencana Sistem Tenaga Listrik Study Perkiraan Beban”. Universitas Negeri Medan. Medan.
<https://nestajuluelektro.wordpress.com/2010/03/23/perencanaan-sistem-tenaga/>
- [5] Nopianto, ST, Ardhi Surya. 2015. “Perhitungan Jatuh Tegangan dan Susut Daya serta Upaya Perbaikan Penyaluran Daya Listrik pada PT PLN (Persero) Rayon Sambas”. Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- [6] Perdana, ST, Hero Putra. 2015. “Evaluasi Kapasitas Jaringan Distribusi Primer untuk Perkembangan Beban pada PT PLN (Persero) Area Singkawang”. Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- [7] PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. 2010. “Desain Kriteria Jaringan Distribusi”. PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. Jakarta.

- [8] Rineldy, Redho Akbar. 2015. *"Analisa Perbaikan Susut Tegangan dengan Cara Pemecahan Beban di PT PLN (Persero) ULP sekayu Penyulang Burgo GI Betung Berbasis Etap"*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- [9] Rusdabasofi. 2013. *"ETAP (Electrical Transient Analyst Program)."*
<https://powersystem2010.wordpress.com/2013/02/12/etap-electrical-transient-analysis-program/>
- [10] Sarimun, Wahyudi. 2011. *"Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua"*. Bekasi.
- [11] Sopyandi, Endi. 2011. *"Tipe – tipe Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV"*. Electricdot.wordpress.com. Jakarta.
- [12] SPLN 72:1987
- [13] Sunardio, Said. 2009. *"Studi Analisa Aliran Beban (Load Flow) Sistem Tenaga Listrik Implementasi pada Jaringan Kelistrikan di Unnes"*. Semarang.

Biography



Ayati Saadah, lahir di Cirebon pada tanggal 10 Oktober 1993. Menempuh Pendidikan Program Strata I (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2015. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Menyetujui :
Pembimbing Utama,

Dr. Ir. H.M. Iqbal Arsyad, M.T., IPM
NIP. 196609071992031002

Pembimbing Pembantu,

Ir. Junaidi, M.Sc, IPM
NIP 19590828196021001

- [8] Rineldy, Redho Akbar. 2015. "*Analisa Perbaikan Susut Tegangan dengan Cara Pemecahan Beban di PT PLN (Persero) ULP sekayu Penyulang Burgo GI Betung Berbasis Etap*". Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- [9] Rusdabasofi. 2013. "*ETAP (Electrical Transient Analyst Program)*".
<https://powersystem2010.wordpress.com/2013/02/12/etap-electrical-transient-analysis-program/>
- [10] Sarimun, Wahyudi. 2011. "*Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua*". Bekasi.
- [11] Sopyandi, Endi. 2011. "*Tipe – tipe Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV*".
Electricdot.wordpress.com. Jakarta.
- [12] SPLN 72:1987
- [13] Sunardio, Said. 2009. "*Studi Analisa Aliran Beban (Load Flow) Sistem Tenaga Listrik Implementasi pada Jaringan Kelistrikan di Unnes*". Semarang.

Biography



Ayati Saadah, lahir di Cirebon pada tanggal 10 Oktober 1993. Menempuh Pendidikan Program Strata I (S1) di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2015. Penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Elektro konsentrasi Teknik Tenaga Listrik Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Menyetujui :
Pembimbing Utama,

Dr. Ir. H.M. Iqbal Arsyad, M.T., IPM
NIP. 196609071992031002

Pembimbing Pembantu,

Ir. Junaidi, M.Sc, IPM
NIP 19590828196021001